

流砂・水文観測データを用いた浮遊砂や掃流砂の観測データによる応答特性と河床材料の空間分布の関係

日本工営(株) 長山 孝彦, 伊藤 隆郭, 保谷 智之, ○木村 詩穂
国土技術政策総合研究所 内田 太郎, 泉山 寛明

1. はじめに

国土交通省では全国約100箇所に流砂水文観測所を設けており、観測データが蓄積されつつある¹⁾。近年、総合的な土砂管理や流域監視等への活用に向けて、データの活用方針の検討が進められている²⁾。一方で、流域監視への活用のため、平常時の土砂流出特性の把握として、出水期と非出水期など時期ごとの土砂流出特性について検討した例は少ない³⁾。本稿では、全国の流砂水文観測所から抽出した10か所の観測データを元に、融雪出水時のデータに着目し、出水期と非出水期の流砂水文特性の違いを整理すると共に、現地調査を行い、観測データによる流砂水文特性と河床材料の空間分布の関係について考察した。

2. 分析手法

2.1 分析対象 分析は、近年(2010~2016年)に観測された出水数が多い10か所(表1)の観測所を対象に実施した。対象の項目は、水位、掃流砂(ハイドロファン)、濁度計及び、観測所近傍の雨量観測所における時間雨量データとした。流砂水文特性として、ここでは雨量と流砂量の関係と、水位と流砂量の関係を示す。雨量と流砂量の関係では、出水期前(1~5月)、出水期(6~10月)、出水期後(11~12月)の期間ごとの流砂量の合計について、掃流砂は川幅を乗じ、全幅の掃流砂量(m^3)、濁度は電圧値に秒数を乗じた量($V \times s$)として集計した。流量と流砂量の関係では、掃流砂は全幅の掃流砂量(m^3/s)、濁度は電圧値(V)とし、流量は水位と流量の関係式により算出した。

2.2 閾値の設定 期間ごとの掃流砂量は、流水等によるノイズを除去するため、閾値を設定し、閾値を超える値のみ集計した。閾値の設定は、全ての出水のハイドロファンの立ち上がりの値を調べ、観測所毎、年毎に集計して、その平均値を閾値として設定した。図1に向屋の例を示すが、閾値以下では掃流砂量が概ね一定となっており、これはノイズと考えられる。閾値は、観測所・年により異なるが、0.00005~0.00005 $m^3/s/m$ であり、大きな差がなかった。なお、濁度および雨量は閾値を設定せず、期間ごとの全ての値を集計した。

3. 出水期・非出水期の流砂応答特性の違い

3.1 雨量と流砂量の関係 雨量と掃流砂量の関係を図2に示す。ここでは、2.0mのハイドロファンのデータを用いた期間ごとの流砂量の合計値を示す。概ね雨量と掃流砂量は比例関係にあるが、例えば三原では、出水期(6~10月)の方が雨量と掃流砂量の相関が見やすく、出水期前(1~5月)は掃流砂量のばらつきが大きい傾向にある。出水期前は雨量に積雪としての貯留が含まれるため、上記のようなばらつきが生じている可能性がある。一方、雨量と濁度の関係(図3)では、出水期前、出水期、出水期後(11~12月)ともにばらつきが大きい。濁度は期間中全ての値を合計しているが、太陽光や土砂の埋没等により平常時で高い出力値を記録している場合があり、そのような異常値が含まれているためばらつきが大きくなっている可能性がある。

3.2 流量と流砂量の関係 図4に大武川の流量と濁度の関係を示す。融雪期の出水時(2012年3月23日~24日)の濁度データは、小粒径($d=0.01mm$)の浮遊限界を越えた流量で濁度が増加し、出水期と異なる挙動を示している。図5に大武川の流量と掃流砂の関係を示す。2012年とその他の年の観測データを比較すると、2012年のみ流砂特性が異なり、観測データは流量に対し、流砂量式と同様の変化傾向を示している。これは、前報⁴⁾によれば河床材料の粒径の変化を受けて、流砂特性が変化している。また、融雪期のデータ(2012年3月23日~24日)を見ると、60%粒径の移動限界流量以上かつ、全出水中最も小さな流量で流砂が発生し、観測データは流砂量式と同様の変化傾向を示している。

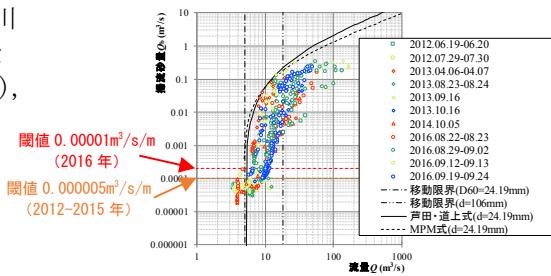


図-1 閾値の設定の例(向屋)

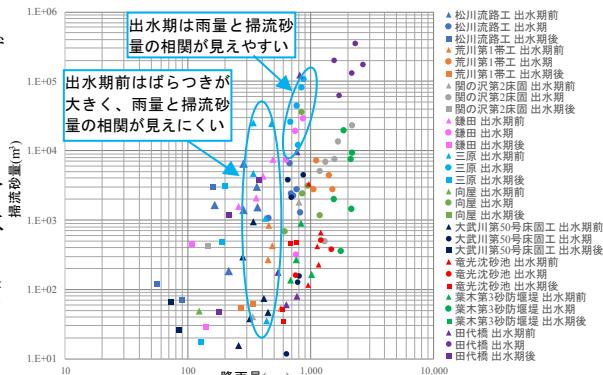


図-2 降雨量と掃流砂量の関係

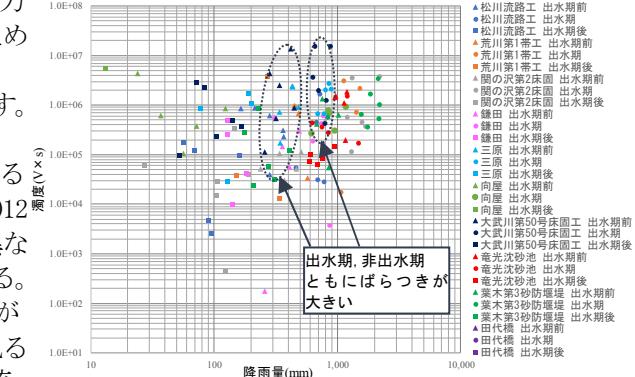


図-3 降雨量と濁度の関係

表-1 分析対象の観測施設の諸元一覧

| No | 地整 | 事務所 | 水系・山系 | 河川 | 観測所名 | 出水数 | 雨量観測所 | 流域面積(km ²) | 川幅(m) | 河床勾配(°) | H-Q式係数 | | 河床材料(mm) |
|----|----|---------|-------|------|-----------|-----|-------|------------------------|-------|---------|--------|---------|---------------|
| | | | | | | | | | | | A | B | |
| 1 | 東北 | 福島河川国道 | 阿武隈川 | 松川 | 松川流路工第2床固 | 34 | 福島(国) | 83.8 | 50 | 0.54 | 180.4 | -0.01 | 9.6 45.0 |
| 2 | 東北 | 福島河川国道 | 阿武隈川 | 松川 | 荒川第1帶工 | 19 | 土湯 | 64.2 | 75 | 1.23 | 63.12 | 0.17 | 24.0 106.0 |
| 3 | 関東 | 日光砂防 | 利根川 | 大谷川 | 関の沢第2床固工 | 13 | 日光 | 243.0 | 117 | 0.43 | 132.14 | -275.74 | 73.7 157.0 |
| 4 | 関東 | 利根川水系砂防 | 利根川 | 片品川 | 鎌田 | 13 | 鎌田 | 247.4 | 69 | 0.96 | 241.18 | -0.01 | 26.0 106.0 |
| 5 | 関東 | 利根川水系砂防 | 利根川 | 吾妻川 | 三原 | 10 | 田代 | 267.0 | 80 | 0.72 | 104.89 | 0.19 | 6.3 27.5 |
| 6 | 関東 | 利根川水系砂防 | 利根川 | 野栗沢川 | 向屋 | 13 | 奥名郷 | 17.0 | 20 | 1.36 | 49.69 | 0.23 | 24.2 106.0 |
| 7 | 関東 | 富士砂防 | 富士川 | 金無川 | 大武川第50床固工 | 15 | 大坊 | 72.0 | 74 | 0.95 | 119.48 | 0.36 | 4.0 41.6 |
| 8 | 北陸 | 湯澤砂防 | 信濃川 | 芋川 | 童光床固 | 26 | 堀之内 | 38.4 | 17 | 1.40 | 38.81 | 0.09 | 2.0 10.5 |
| 9 | 九州 | 川辺川ダム砂防 | 球磨川 | 葉木川 | 葉木第3砂防堰堤 | 29 | 板木 | 41.2 | 18 | 0.80 | 32.55 | 0.13 | 0.3 0.7 |
| 10 | 九州 | 川辺川ダム砂防 | 球磨川 | 川辺川 | 田代橋 | 40 | 五木宮園 | 490.4 | 67 | 0.30 | 51.39 | -1.08 | 0.7 5.0 |

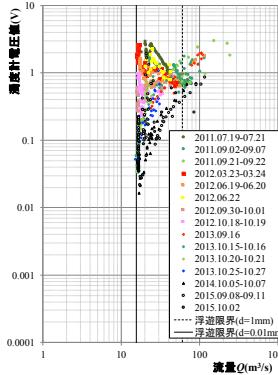


図-4 流量と濁度の関係
(大武川)

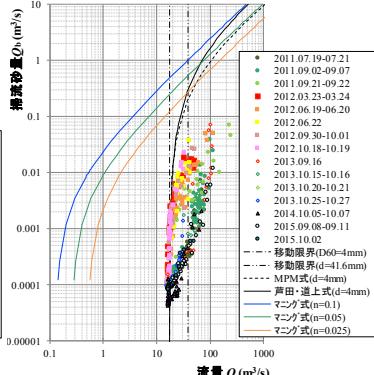


図-5 流量と掃流砂量の関係
(大武川)

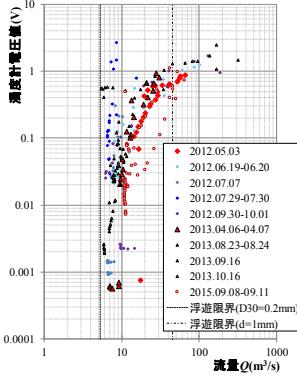


図-6 流量と濁度の関係
(三原)

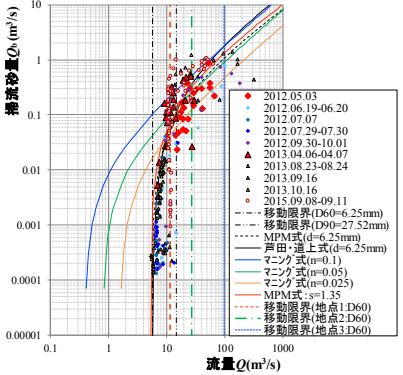


図-7 流量と掃流砂量の関係
(三原)

これは、2012年の粒径の変化⁴⁾により、小粒径の流砂が発生したと考えられる。

図6には三原の流量と濁度の関係を示す。出水期・融雪期ともに濁度は流量に依存する傾向にあるが、融雪期は流量が増加するにつれて濁度も増加するのに対し、出水期は小粒径($d=0.2\text{mm}$)の浮遊限界流量以上で、比較的流量が小さい出水で高濁度を観測している場合がある。図7には三原の流量と掃流砂の関係を示す。出水期と融雪期の流砂特性に大きな差がないが、融雪期でも60%、90%粒径の移動限界流量を越える流量が発生し、流砂量式に近い流砂量が観測されている。最も流砂量が多い2015年9月8日-11日出水は、H27年9月関東・東北豪雨時の観測データである。

図5、7にはマニングの粗度係数 n を0.025, 0.05, 0.1とした場合に、マニング式による流速を算定し、流下断面積を乗じて算出した流量と、MPM式による流砂量の関係を合わせて示す。粗度係数 n を大きく設定すると、同一流砂量を流下させる流量が小さくなる。粗度係数 n が0.05のとき、概ね90%粒径の移動限界流量以上では $H-Q$ 式による流量と概ね同等となるが、それ以下の流量では同一の流砂量を流す流量が $H-Q$ 式による流量と大きく異なる。その要因として、小流量であっても流下断面積に全幅の川幅を用いていることが挙げられる。マニング式を用いる場合、 $H-Q$ 式と比べて、水深が全幅に発生しない小流量における川幅の設定等、流量推定の精度向上に課題がある。

4. 現地調査による河床材料の空間分布

4.1 粒度分布の調査箇所の選定手法 三原の近傍において河床材料調査を実施した。実施箇所を図-8に示す。実施箇所の選定は、中規模河床形態の形成されている中で、砂州前縁線の箇所として縦断的に複数箇所選定した。また、出水規模に応じた冠水箇所を想定し、横断的に3か所（水中、水際、州・テラス）選定した。

4.2 河床材料と流砂水文観測データの関係 河床材料調査結果を図9に示す。横断的にみると、地点1, 2, 3（水中、水際、州）の順に粗粒傾向がある。また、地点8は地点1, 2, 3から約1km下流で、半波長4つ分、下流に位置するが、地点1, 2と同等の粒径である。

三原のハドワオンはみお筋上にあり、中小規模の出水であればみお筋上の流砂を計測している可能性が高く、一方で、砂州が形成されるような規模の出水で計測される流砂は、砂州前縁部などの材料であると想定される。粒径と流砂観測データの関係を整理するため、図7には地点1, 2, 3の60%粒径の移動限界流量を示す。観測データから見る移動限界は、地点1の60%粒径の移動限界が最も近い。また、表1に示した2013年の河床材料データの60%粒径～90%粒径の間に、今回の水中の河床材料データ（地点1）が来る。2015年出水等の最近の観測データは、地点1の移動限界流量に対する挙動に追随しており、都度の河床材料調査の必要性を示している。三原の河床材料は火山性の礫を多く含んでおり、火山性礫の比重を測定した結果、 2.2g/cm^3 程度で、通常の礫の比重 2.6g/cm^3 と比較して軽かった。図7に、砂の水中比重 s を1.35とした場合のMPM式における流砂量を示す。これらの影響により、流量に対する掃流砂量が全国の流砂観測所と比較して多く、流砂量式とほぼ同等がそれ以上の流砂量が観測されている。

5.まとめ

本稿では、出水期と非出水期の平常時（中小規模の出水）の流砂水文特性の違いについて整理した。また、掃流砂観測のための河床材料調査の調査箇所選定手法の事例と、継続的な粒径調査の必要性を示した。今後の課題としては、濁度の異常値を除去する手法等である。

【参考文献】 1) 内田ら：ハドワオンによる観測に基づく山地流域の掃流砂の流出特性、平成27年度砂防学会研究発表会概要集p. B20-B21, 2015. 2) 高原ら：流域監視に資する流砂水文観測データ分析手法の検討、平成30年度砂防学会研究発表会概要集p. 319-320. 3) 谷ら：流砂観測に基づく土砂移動特性の評価及び土砂供給源の推定、砂防学会誌Vol. 65, No. 3, p21-28, 2012. 4) 木村ら：山地河川における土砂流出特性の支配要因に関する一考察、砂防学会誌vol. 70, No. 6, p. 46-53, 2018

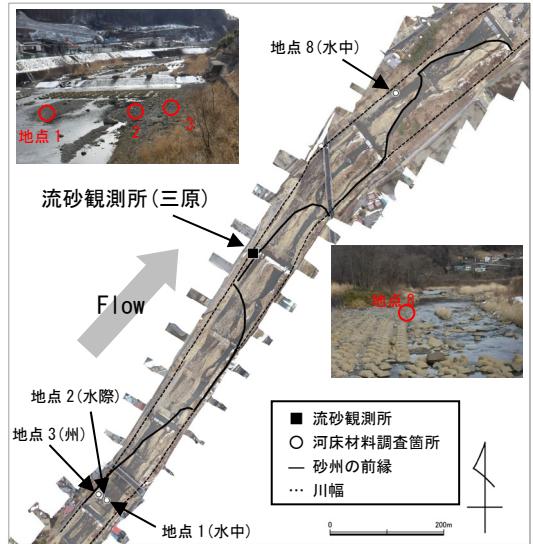


図-8 河床材料調査実施箇所（三原）

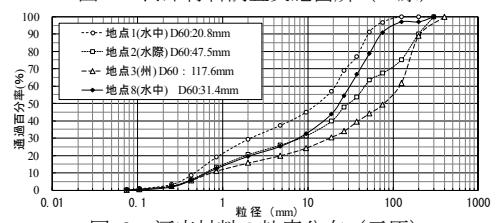


図-9 河床材料の粒度分布（三原）